

ASPECTOS HISTOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE *JOANNESIA PRINCIPS* E *SPATHODEA CAMPANULATA*, CRESCENDO EM SOLOS NA CAPACIDADE DE CAMPO, ENCHARCADO E ALAGADO^(c)

MOACYR EURÍPEDES MEDRI^(a)
MARIA APARECIDA CORREA^(b)

RESUMO

Foi montado um experimento envolvendo plantas envasadas de *Joannesia principals* e *Spathodea campanulata*, em condições de solo alagado, encharcado e na capacidade de campo, visando detectar e estudar variações de alguns parâmetros histológicos e bioquímicos. Verificou-se que *S. campanulata* apresentou maior plasticidade histológica que *J. principals*, sendo a única a suportar a condição de solo alagado. As mudanças histológicas em raízes e caules de *S. campanulata* foram notáveis, podendo provavelmente serem associadas à maior sobrevivência da espécie em solos com baixos teores de oxigênio. A atividade mitogênica das células cambiais da casca foi maior em *S. campanulata* quando ensaiada em solo alagado. Foram ainda observadas numerosas lenticelas esponjosas decorrentes dessa atividade aumentada. Comparando-se as duas espécies nos diferentes tratamentos, constatou-se diferenças significativas nos teores relativos de álcool em raízes. Análises de regressão linear revelaram índices significativos entre as concentrações alcoólicas e as alterações histológicas, encontrando-se maior quantidade de álcool em *J. principals*.

PALAVRAS-CHAVE: Anoxia e variação histológica; Plasticidade fenotípica - aerobiose e anoxia.

1. INTRODUÇÃO

Um grande número de trabalhos atualmente tem-se dedicado aos estudos das relações existentes entre concentrações diferentes de oxigênio e a fisiologia do crescimento ou a anatomia vegetal, podendo ser citados, entre outros, os de HABERLANDT (1965), ESAU (1965) e HOOK et alii (1972).

A eliminação natural de espécies de ambientes pobres em oxigênio, ou a adaptação de tantas outras a estes mesmos ambientes, tem preocupado muitos pesquisadores, sendo que alguns, utilizando-se da análise da ultra-estrutura celular, encontraram grande plasticidade mitocondrial (WADA, 1961; TSUJI, 1968; OPIK, 1973). Estes trabalhos mostram mudanças estruturais nas organelas citoplasmáticas, havendo diferenças nos níveis destas mudanças ao comparar diferentes órgãos de uma mesma planta.

Mudanças estruturais seriam provocadas por alterações bioquímicas das células, havendo diferentes respostas comparando diferentes espécies ou diferentes órgãos de um mesmo indivíduo. CRAWFORD (1978) propôs um diagrama sumarizado para explicar plantas tolerantes e intolerantes, sendo sugerido que a acumulação de Malato não acarretaria efeitos solubilizadores Mitocondriais, como o etanol, devendo esta substância ser metabolizada, sem nenhum prejuízo, quando a mesma estiver em solo normalmente arejado.

O estudo comportamental do desenvolvimento de plantas arbóreas ou outras, em condições de solo alagado, é de fundamental importância, quando se trata de preservação ou reconstituição de matas ciliares, sujeitas a inundações quando da construção de barragens. Nota-se aí uma senescência gradual desta vegetação específica, com algumas espécies sendo mais tolerantes e outras menos.

Foi montado um experimento envolvendo plantas envasadas de duas espécies arbóreas, *Joannesia principals* (Euphorbiaceae) e *Spathodea campanulata* (Bigoniaceae), em condições de solo alagado, encharcado e na capacidade de campo, visando detectar e estudar variações de alguns parâmetros histológicos e bioquímicos, além de levantar características que possibilitassem o estabelecimento de um quadro-regra capaz de ser utilizado para o diagnóstico de espécies tolerantes a baixos teores de oxigênio no solo. A compreensão da plasticidade fenotípica é imprescindível sobre qualquer aspecto, diminuindo muitos erros cometidos em florestamento e mesmo em reflorestamento quando bem conhecida.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de *J. principals* e *S. campanulata*, com um ano de idade, envasadas em sacos de polietileno preto, foram distribuídas aleatoriamente sob casa de vegetação, sendo iniciados os tratamentos após 30 dias de envasamento.

(a) Universidade Estadual de Londrina – Depto. de Biologia Geral e Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas.

(b) Estagiária do Curso de Ciências Biológicas do Depto. de Biologia Geral da Universidade Estadual de Londrina.

(c) Trabalho realizado com ajuda financeira da CPG/UEL.

De um total de 40 plantas por espécie, 10 indivíduos tomaram parte em cada tratamento, sendo 10 indivíduos controles mantidos em solo na capacidade de campo, 10 em condições de solo encharcado e 10 em condições de alagamento. Outras 10 plantas foram sacrificadas com o objetivo de se quantificar o sistema radicular no início dos tratamentos, para se obter um referencial.

Diariamente foram realizadas observações no tocante às condições hídricas do solo e de comportamento fisiológico das plantas, sendo os últimos registrados sistematicamente. Após 90 dias de tratamento, quando as diferenças fisiológicas foram significativas, iniciaram-se as análises dos parâmetros morfológico, histológico e bioquímico. Foram registrados o comprimento total das raízes e caules, obtendo-se o índice de crescimento ao serem comparadas com os órgãos das plantas referenciais. Foram efetuadas observações morfológicas quanto aos lançamentos de fluxos de raízes secundárias, adventícias, pares de folhas e o amarelamento e abscisão destas. Após a quantificação deste parâmetro morfológico, coletou-se raízes pivotantes, raízes secundárias e caules, para a análise histológica. Foram confeccionadas lâminas permanentes destes órgãos, após fixação em FAA e parafinização. A coloração foi realizada em Astrablau - Fuccina básica e os registros histológicos efetuados com o auxílio de câmara clara, sendo a lâmina também fotografada. Foram coletadas raízes secundárias e extremidades de raízes pivotantes das plantas *J. princips* e *S. campanulata*, nos diferentes tratamentos, com a finalidade de detecção e quantificação de álcool, empregando-se metodologia de Nicloux, utilizada para dosagem alcoólica em líquidos orgânicos. A detecção e quantificação se obtém por titulação com dicromato de potássio, cujos cálculos são realizados através de uma relação estequiométrica da reação.

As análises de regressão linear entre o parâmetro anatômico e bioquímico, assim como, os testes de hipóteses (Distribuição de STUDENT), foram efetuados segundo SIEGEL (1956).

3. RESULTADOS

A espécie *J. princips* apresenta-se com um sistema radicular altamente explorativo em condições de solo arejado, apresentando uma pivotante de 14,5cm de comprimento em 1 ano de idade. Da pivotante partem fluxos agrupados de raízes secundárias que se estendem até atingirem comprimentos equivalentes ou superiores ao da pivotante. São menores os comprimentos das pivotantes, os números de fluxos e os comprimentos das raízes secundárias emitidas em condições de solo alagado, mostrando uma correlação inversa entre o percentual de H₂O no solo e a rizosfera (Fig. 1A). O sistema radicular de *J. princips* morre com 90 dias de alagamento, havendo deterioramento das raízes secundárias e a parte cortical da zona inferior da pivotante.



FIG. 1A e B - Comportamento vegetativo de *J. princips* (A) e de *S. campanulata* (B), em condições de solo alagado (1), encharcado (2) e na capacidade de campo (3).

O sistema radicular de *S. campanulata*, tanto em condições de solo encharcado como em solo alagado permanece vivo. Entretanto, há uma diminuição significativa no lançamento de fluxos de raízes secundárias. As poucas raízes secundárias, lançadas em condições de solo alagado, mostram-se alongadas porém explorativas, quando comparadas às de solo na capacidade de campo (fig. 1B). Tanto em condições de solo encharcado como em solo alagado, *Spathodea campanulata* mostra maior índice de crescimento das suas raízes secundárias e pivotantes do que em *Joannesia princips* (Tab. 1, Fig. 2).

CRESCIMENTO DO CAULE E DA RAIZ PIVOTANTE (cm)												
<i>Joannesia princips</i>						<i>Spathodea campanulata</i>						
Tratamento hídrico do solo												
Cap. campo		encharcado		alagado		cap. campo		encharcado		alagado		
Caule	raiz	caule	raiz	caule	raiz	caule	raiz	caule	raiz	caule	raiz	
112,0	25,0	66,4	16,5	M	M	130,0	33,0	90,0	25,0	80,0	25,0	
111,0	27,0	65,6	15,0	O	O	120,0	30,1	92,0	28,0	80,5	23,0	
118,0	26,5	68,0	17,2	R	R	135,0	31,2	93,0	24,2	75,5	26,2	
112,0	27,2	63,0	17,0	T	T	130,0	33,4	88,0	23,4	81,0	26,0	
118,0	27,0	70,0	15,7	E	E	138,0	29,0	90,0	27,0	83,0	24,0	
\bar{X}	114,2	26,54	66,6	16,28	-	-	128,6	31,16	90,6	25,52	80,0	24,84
cc	51,2	12,04	3,6	1,78	-	-	53,6	8,16	15,6	2,52	5,0	1,84
	Referencial (caule) - 63,0 cm Referencial (raiz) - 14,5 cm						* Referencial (caule) - 75,0 cm Referencial (raiz) - 23,0 cm					

TABELA 1 - Crescimento da raiz pivotante de *J. princips* e *S. campanulata* em condições de solo na capacidade de campo, encharcado e alagado.

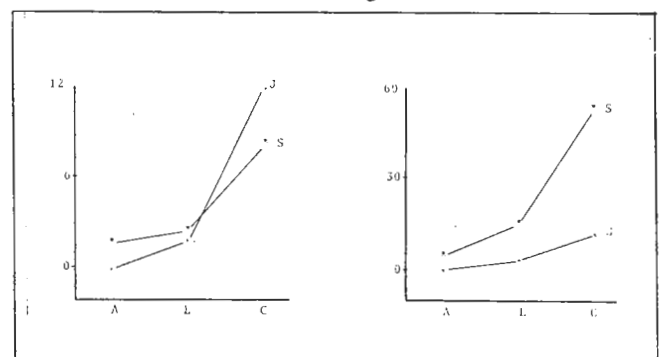


FIGURA 2 - Crescimento da raiz pivotante (esquerda) e de caule (direita), de *J. princips* e *S. campanulata* em condições de solo na capacidade de campo (C), encharcado (E), alagado (A).

As observações histológicas efetuadas em raízes pivotantes de *J. princips*, em condições de solo alagado por 90

dias, mostraram tecidos parenquimáticos corticais, floemático e xilemático inteiramente deteriorados. Nas plantas analisadas, apenas a região central do tecido medular apresenta-se viva. Quando comparadas aos controles, as raízes pivotantes de *S. campanulata*, em condições de solo alagado, mostraram-se vivas em todas as suas extensões, havendo algumas células mortas na faixa cortical e alguns espaços intercelulares de natureza esquizogênica, situados mais profundamente (Fig. 3A e B). Os espaços intercelulares equivalem ao volume de 5 a 6 células felodérmicas, constituindo-se em verdadeiras câmaras (Fig. 3A e B).

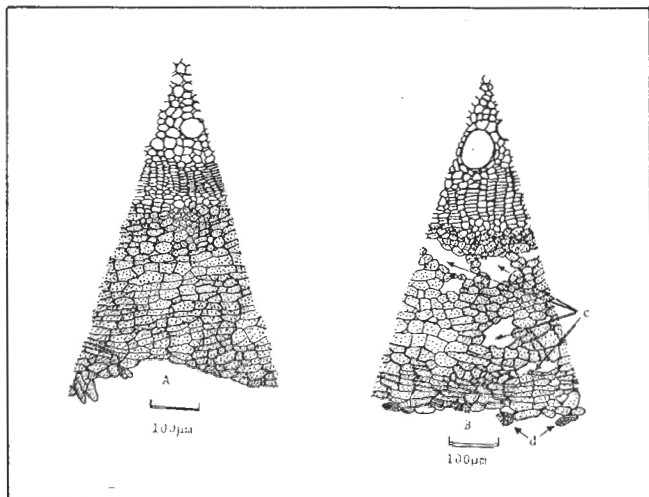


FIGURA 3 – Corte transversal da raiz pivotante de *S. campanulata*. A e B raízes desenvolvidas em condições de solo na capacidade de campo e alagado, respectivamente; c, câmara; d, células deterioradas.

A análise histológica qualitativa, comparando raízes secundárias de *J. principis* em condições de solo na capacidade de campo e encharcado, mostra diferenças teciduais significativas. A secção transversal de raiz secundária desenvolvida em solo na capacidade de campo, mostra todos os tecidos intactos (Fig. 4A), não ocorrendo o mesmo com a raiz desenvolvida em condições de solo encharcado (Fig. 4B). O tecido epidérmico encontra-se interrompido por ruptura, observa-se câmaras lisogênicas no parênquima

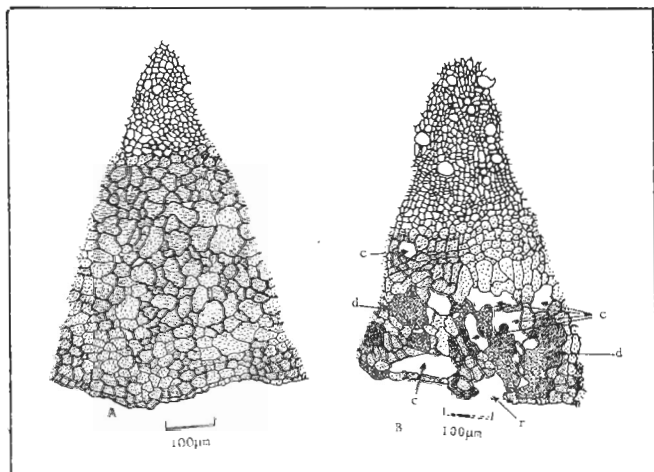


FIGURA 4 – Corte transversal de raízes secundárias de *J. principis*. A e B, raízes desenvolvidas em solo na capacidade de campo encharcado, respectivamente. c-câmara.

cortical, enquanto que outras intensas áreas encontram-se em ativo processo de deterioração (Fig. 4B), permanecendo intacto apenas o cilindro central. Isto parece evidenciar a morte gradativa da casca em direção ao cilindro central, da raiz pivotante.

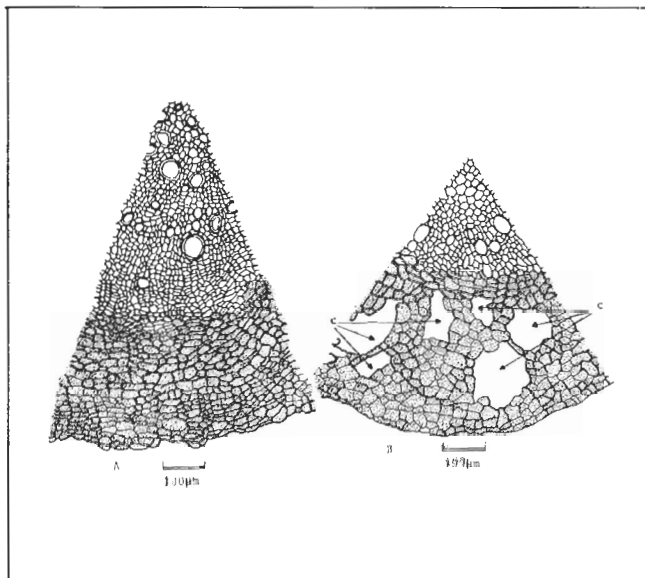


FIGURA 5 – Corte transversal de raízes secundárias de *S. campanulata*. A e B, raízes desenvolvidas em solo na capacidade de campo e alagado, respectivamente. c-câmara; d-áreas deterioradas; r-área de ruptura.

A análise histológica comparada, efetuada entre raízes secundárias de *S. campanulata*, em condições de solo na capacidade de campo e de solo alagado, evidencia diferenças muito significativas, embora, ao serem comparadas com raízes de *J. principis* os efeitos do alagamento não são tão drásticos e nocivos (Fig. 4A e B, 5A e B).

S. campanulata mostra, em condições de solo na capacidade de campo, tecidos sem grandes espaços intercelulares, apresentando apenas freqüentes meatos, sendo que, em condições de solo alagado, seu parênquima cortical mostra câmaras esquizogênicas (Fig. 5A e B). Os volumes das células, principalmente as corticais, são significativamente ($P < 0,0001$) maiores em raízes de solo alagado que na capacidade de campo. Comportamento similar não ocorreu na espécie *J. principis*, onde os volumes celulares do parênquima cortical de raízes alagadas, não mostraram aumentos significativos.

É interessante notar o aparecimento de algumas raízes secundárias muito entumescidas em *S. campanulata* em condições de solo encharcado. São raízes engrossadas, com diâmetros 8 a 10 vezes maiores que das raízes secundárias normais (Fig. 6). A zona cortical destas raízes mostram-se partidas longitudinalmente formando fendas e expondo células vivas do parênquima cortical (Fig. 6).

A freqüência de lenticelas em raízes de caules de *J. principis* e de *S. campanulata*, em condições de solo na capacidade de campo, é significativamente menor que em solo encharcado ou alagado (Fig. 7). As lenticelas concentram-se mais freqüentemente próxima (5cm) à região do colo. Nas condições acima mencionadas *S. campanulata* mostra um maior número de lenticelas/mm² que *J. principis*.



FIGURA 6 – Vista frontal de raízes secundárias de *S. campanulata* desenvolvida em condições de solo encharcado, A – raiz normal; B – raiz entumescida.

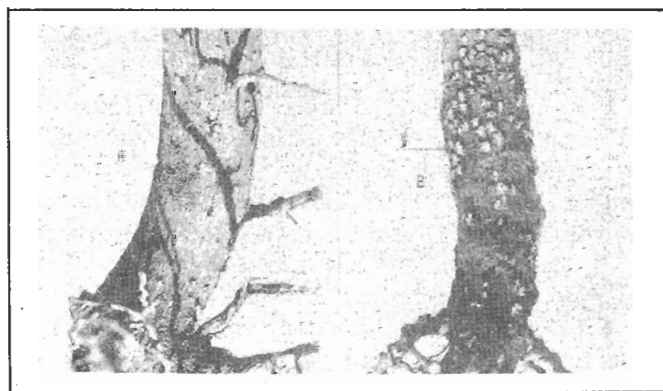


FIGURA 7 – Vista frontal de regiões colo-caule em plantas de *S. campanulata*. A, solo na capacidade de campo; B, solo alagado. L, lenticelas.

Em condições de solo alagado as lenticelas tornaram-se

maiores, havendo incrementos de 50 a 100% no seu comprimento. Este comportamento foi similar comparando as regiões do colo-raiz das duas espécies aqui estudadas (Figs. 7; 8, A e B; Tab. 3).

As lenticelas das plantas controles (solo na capacidade de campo) de *S. campanulata* mostraram-se geralmente maiores que as de *J. principis*, sendo que em condições de solo alagado estas diferenças tornaram-se ainda maiores (Fig. 7A).

As lenticelas em caules de plantas de *J. principis*, desenvolvidas em solo na capacidade de campo, são formadas a partir de um tecido felogênico de células estreitas e com 30 a 40 μ m de comprimento. Este felogênio é composto por 3 a 4 camadas de células, sendo mais espesso ao nível da região central da lenticela (Fig. 9A). As alturas das bordas das lenticelas nestas plantas, não ultrapassam 400 μ m.

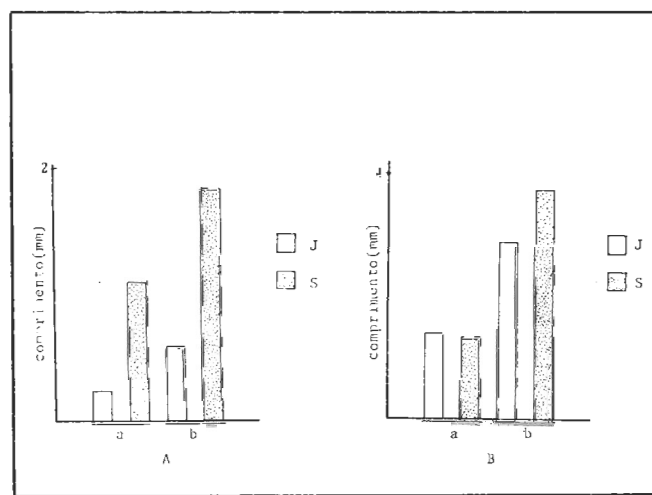


FIGURA 8 – Comprimento de lenticelas de *J. principis* e *S. campanulata* nas regiões do colo-caule (A) e colo-raiz (B), nos diferentes tratamentos. a - solo na capacidade de campo; b - solo alagado.

TABELA 3 – Comprimento de lenticelas de *S. campanulata* nas regiões do colo-caule e colo-raiz, nos diferentes tratamentos.

COMPRIMENTO DE LENTICELAS (mm)								
T R A T A M E N T O S								
N.	SOLO NA CAPACIDADE DE CAMPO				SOLO ALAGADO (película: H ₂ O – 2cm)			
	<i>J. principis</i>		<i>S. campanulata</i>		<i>J. principis</i>		<i>S. campanulata</i>	
	colo-caule	colo-raiz	colo-caule	colo-raiz	colo-caule	colo-raiz	colo-caule	colo-raiz
1	0,40	2,0	2,6	1,5	1,0	2,0	3,5	2,5
2	0,30	1,5	2,0	1,6	0,7	1,2	2,9	3,0
3	0,40	1,2	1,2	1,3	0,8	2,5	2,5	2,5
4	0,45	10,0	2,4	1,5	0,5	2,5	2,4	3,0
5	0,30	1,0	3,0	1,4	1,0	3,0	3,0	4,5
6	0,50	2,5	1,5	1,6	0,7	1,5	3,0	5,0
7	0,50	2,0	2,3	1,5	1,0	3,2	2,4	3,0
8	0,50	1,9	1,4	1,6	1,2	2,0	2,0	4,0
9	0,50	1,4	2,3	2,5	0,8	2,5	3,0	5,0
10	0,40	1,2	2,0	2,0	0,7	3,5	2,5	4,6
11	0,40	1,5	1,8	1,0	0,9	4,0	3,0	4,0
12	0,60	1,5	1,7	1,5	1,2	4,0	3,2	3,8
13	0,40	2,0	1,8	1,6	1,0	2,0	2,8	2,5
14	0,30	1,5	2,0	1,5	1,4	2,5	4,0	2,0
15	0,50	2,0	2,3	1,5	1,3	4,0	2,0	2,8
16	0,40	1,5	2,0	2,0	1,0	4,5	5,0	3,2
17	0,30	1,3	1,5	1,5	0,8	3,5	5,5	4,5
18	0,40	2,0	1,2	1,5	1,0	3,5	3,2	4,0
19	0,40	2,0	1,8	1,8	1,4	3,5	3,3	4,6
20	0,35	2,0	1,5	1,7	1,5	3,5	4,0	3,0
\bar{x}	0,41	1,65	1,91	0,160	0,989	2,889	3,116	3,587

Em condições de solo pouco arejado, as lenticelas em caules de *J. principis*, mostram-se mais ricas em tecido felogênico, principalmente na zona mais ativa, a zona central. Nota-se aí uma região de intensa atividade mitogênica, onde, por consequência de sucessivas multiplicações, há um desabrochamento de células para o exterior, ampliando significativamente a área de contato dos tecidos vivos corticais com o meio ambiente (Fig. 9B). Foram observa-

dos meatos, lacunas e câmaras nestas lenticelas e uma superfície externa rica em reentrâncias e saliências (Fig. 9B).

Em condições de solo arejado as lenticelas caulinares de *S. campanulata* têm 280 μm de altura e um tecido felogênico formado por 2 a 4 camadas de células estreitas e alongadas (Fig. 10A). Ao contrário da *J. princips*, o tecido felogênico de *S. campanulata* mostra-se composto por duas faixas de células felogênicas que se dispõem em arco apenas na extensão da lenticela (Fig. 10A). Nota-se em condições de solo pouco arejado, tanto em plantas de solo encharcado como no alagado, uma intensa atividade mitótica nas duas faixas felogênicas. Tanto a externa como a interna produz células para o interior e exterior do arco, sendo as células do interior do arco, 3 a 4 vezes mais volumosas que as externas (Fig. 10B). Como consequência dessa intensa multiplicação celular, o arco torna-se maior e mais aberto, em condições de solo alagado (Fig. 10B).

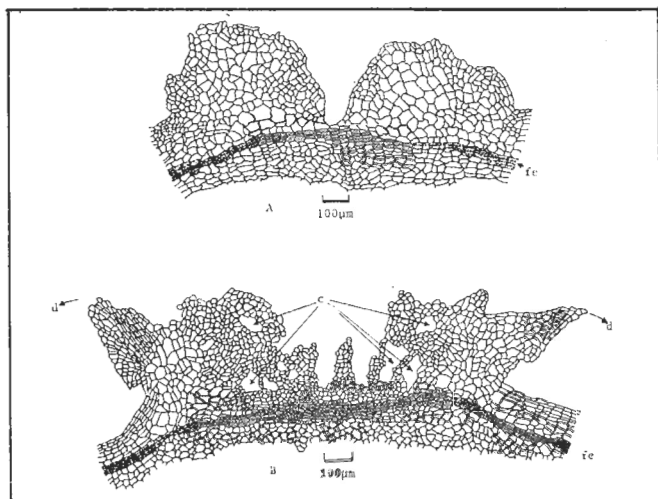


FIGURA 9 – Corte transversal de lenticela em caule de *J. princips* em condições de solo na capacidade de campo (A) e alagado (B). fe, felogênio; c, câmara; d, dobra.

Em *S. campanulata* as alturas das bordas da lenticela oscilam em torno de 600 μm . A produção intermitente de células, acopladas à distensão das mesmas, produz um rebordo celular nas laterais da lenticela, onde o tecido mais antigo é forçado a se enrolar mediante a pressão das células mais recentes (Fig. 10B). A superfície viva da lenticela em *S. campanulata* é aumentada algumas vezes, sendo observada a presença de meatos, lacunas e câmaras (Fig. 10B). A visualização topográfica mostra uma maior concavidade na sua região central e alguns sítios profundos marcados por intensas rupturas (Fig. 10B). Em condições de solo arejado a lenticela caulinar de *S. campanulata* mostra-se formada por células justapostas, sendo reduzida a superfície viva de contato com o meio ambiente (Fig. 10A).

A dosagem alcoólica observada em raízes de *J. princips* em condições de solo encharcado e alagado, foi significativamente ($P = 0,0001$) maior que em *S. campanulata*. As diferenças foram significativas ao comparar concentrações relativas de álcool em condições de solo encharcado em qualquer uma das espécies, havendo mais álcool/peso seco de raiz em plantas desenvolvidas no segundo trata-

mento. *S. campanulata* apresenta álcool em suas raízes apenas em condições de solo alagado, estando porém, em concentração muito baixa.

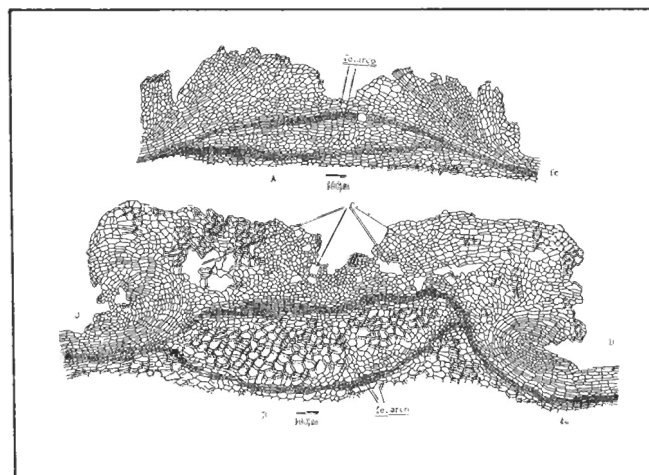


FIGURA 10 – Corte transversal de lenticela em caule de *S. campanulata* em condições de solo na capacidade de campo (a) e alagado (B). fe, felogênio; fe, arco, felogênio em arco; c, câmara; d, dobra.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Um grande número de trabalhos atualmente tem-se dedicado ao estudo das relações existentes entre concentrações diferentes de oxigênio e a fisiologia do crescimento ou a anatomia vegetal. WADA¹⁹, TSUJI¹⁶ e KORDAN^{9, 10} verificaram que *Oryza sativa* pode germinar em condições extremamente mais baixas de oxigênio do que *Triticum vulgare* e *Cucumis sativos*. Estes mesmos autores verificaram também que em condições anaeróbicas *Oryza sativa* apresentava um crescimento diferencial, crescendo o coleoptile, porém, raízes e folhas permaneciam sem alteração de desenvolvimento. VARTAPETIAN et alli¹⁸, UEDA & TSUJI^{17, 16} e OPIK¹³ verificaram que células de *Oryza sativa*, em condição de anaerobiose, apresentavam todas as organelas celulares inclusive mitocôndrios, porém estes eram de forma irregular, mais largas, com poucas cristas mitocondriais e grandes espaços internos. Verificaram também uma grande plasticidade mitocondrial em células de coleoptiles formadas em condições aeróbicas e depois colocadas em anaerobiose, ocorrendo igual plasticidade invertendo-se o tratamento. Estes trabalhos mostram diferentes graus de tolerância da ultra-estrutura a anoxia comparando células de coleoptides, folhas primárias e raízes de *Oryza sativa*, sendo as células dos dois primeiros órgãos mais resistentes, retendo a ultra-estrutura por mais de cinco dias em anoxia, enquanto na raiz há degradação mitocondrial com apenas 3 dias.

VARTAPETIAN et alli¹⁸ cita que processos glicolíticos na ausência de oxigênio envolvendo células de coleoptides, providenciam energia para manter os processos de síntese que promoveria a preservação da ultra-estrutura das organelas. Estes processos seriam menos rigorosos em células de raízes de plântulas e não poderiam satisfazer a energia requerida pelas células. Por outro lado, não po-

deria ser descartada a possibilidade de maior sensibilidade de células de raízes a produtos tóxicos oriundos do metabolismo anaeróbico. Os dados obtidos por VARTAPETIAN et alii¹⁸, mostram que a capacidade remarcada de coleoptide de *Oryza sativa* crescer sob condições de exclusão total de oxigênio e a preservação da ultra-estrutura e função da mitocôndria e outras organelas celulares, seria explicada, não pela tolerância das estruturas subcelulares à anoxia mas, antes de tudo, pela capacidade das plântulas, diferentes de outros superiores, para transportar facilmente substâncias orgânicas sobre distâncias relativamente longas da semente para outras partes em crescimento. HOOK & BROWN^{6, 7} citam várias características anatômicas de plantas arbóreas de ambientes alagados, como muito parênquima xilemático, aerênquima desenvolvido, endoderme pouco diferenciada, lançamento de raízes adventícias ao nível da água, tecido cambial frouxo e a formação de grandes lenticelas.

HABERLANDT⁵ cita que os tecidos internos de plantas superiores podem ser arejados através de estômatos e folhas, lenticelas de caules e raízes e por trocas gasosas diretas por difusão, entre a raiz e a atmosfera do solo, quando este é arejado. ESAU⁴ cita a presença de lenticelas produzidas por um tipo específico de felogênio, sendo estas muito eficientes nas trocas gasosas envolvendo uma casca grossa e o ambiente. Alguns trabalhos, sobre a permeabilidade do Câmbio ao oxigênio, reportam que este tecido oferece resistência, entretanto pesquisas recentes HOOK & BROWN⁶ demonstram que o Câmbio das plantas hidrófitas apresenta células com muitos espaços intercelulares facilitando a difusão.

As evidências histológicas encontradas no presente trabalho retrata muitos espaços intercelulares (câmaras, lacunas e meatos) presentes no tecido parenquimático cortical de raízes pivotantes e secundárias, sendo mais frequentes em *S. campanulata*. As células que rodeiam estes espaços são vivas na espécie referida e em senescência em *J. pryncips*. A presença de grandes câmaras intercelulares em raízes de *S. campanulata* favorecem a aeração. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por BRYANT¹ em *Hordeum vulgare*, em que após permanecer por um período de dois meses em um meio de cultura não arejado, foi capaz de formar lacunas no córtex de suas raízes, além de aumentar a frequência de raízes secundárias.

McPHERSON¹², trabalhando com raízes de *Zea mays* em condição de anoxia, explicou a formação de lacunas no parênquima cortical, com base na vacuolização destas células, estando sujeitas a grande turgescência com parada rápida no metabolismo citoplasmático das proteínas e conseqüente deterioração.

Outra adaptação presente nas raízes secundárias de *S. campanulata* é o aparecimento de intumescimento. Estas raízes são engrossadas por apresentarem um parênquima cortical com células volumosas constituindo um tecido frouxo, que poderia facilitar a aeração. Estes resultados são concordantes com os de PITMAN¹⁴ trabalhando com *Hordeum vulgare* em solução não arejada. O autor conclui que a intumescência destas raízes é devido ao aumento no tamanho das células e não da sua frequência.

Muitos autores, entre eles KEFFORD⁸, explicou a presença de células grandes e com paredes finas em raízes de plantas em meios com deficiências de oxigênio, com base na maior concentração de auxina neste órgão. Esta hipótese é suportada uma vez que a presença do oxigênio é fundamental para a ocorrência da oxidação do AIA pela peroxidase. Este aumento de concentrações de auxinas a nível radicular em colo-raiz-caule, eleva também os níveis de etileno porque estes estimulam os sistemas enzimáticos capazes de converter a molécula precursora metionina. A maior frequência de raízes secundárias encontrada em plantas alagadas pode ser fruto deste aumento de etileno.

O aumento da frequência e tamanho de lenticelas em caules e raízes das duas espécies em condições de alagamento, sugere um mecanismo estratégico, onde a plasticidade fenotípica pode alcançar valores imprescindíveis, capaz de produzir efeitos compensadores para a sobrevivência. Estes aumentos lenticelares em condições de solo com deficiências de oxigênio, podem ser explicados pela maior concentração de auxinas e etileno em raízes (KEFFORD 1962).

CHIRKOVA & GUTMAN² citam que o oxigênio penetra via lenticela e difunde-se através do parênquima, sendo que estas mesmas estruturas podem eliminar produtos da glicólise, como etanol, acetaldeído, lactato, etileno, malato, etc. A energia obtida através deste mecanismo não é alta. A transformação de 1 mol de glicose para etanol ou lactato é aproximadamente de 15Kcal de energia biológica para uso, e a glicose consumiria 10% da sua energia livre, sendo ainda sua produção muito pobre. Assim, quando tecidos de plantas ou células são transferidas do ar para condições anaeróbicas, o nível de ATP decresce imediatamente como conseqüência da inibição da fosforilação oxidativa. Um novo equilíbrio entre ATP, ADP e AMP é refeito depois, entre 1 a 15 minutos, dependendo das células ou tecidos envolvidos. Durante este período a energia deve ser originada de processos fermentativos. O custo da nova energia medida em plantas superiores durante as primeiras horas em anaerobiose oscila entre 0,1 a 0,7. O nível da carga é um parâmetro que pode ser correlacionado com a atividade da fosforilação oxidativa. Este parâmetro tem sido usado por Raymond, Bzam e Padret (em preparação).

A maior tolerância a anoxia em *S. campanulata*, comparada à *J. pryncips*, se deve provavelmente a sua maior aeração via parte aérea e terrestre, sobre tudo pelas suas exuberantes lenticelas caulinares, lenticelas radiculares e pelas raízes secundárias ricas em lacunas e intumescidas. As maiores concentrações alcoólicas encontradas em *J. pryncips* revela menor aeração desta. A acumulação de etanol resultante do incremento da glicólise pode estar levando à destruição da membrana pela solubilização dos lipídeos e inativando a atividade enzimática mitocondrial e incrementando a preponderância da atividade glicolítica. A exudação dos substratos mitocondriais e açúcares solúveis podem estar facilitando o crescimento de patógenos do solo que então invadem as raízes. As raízes pivotantes de *J. pryncips* mostram-se com áreas em deterioração aos 90 dias de anoxia, sugerindo solubilização li-

pídica da membrana mitocondrial, exudação de açúcares livres e ataque de patógenos. A *S. campanulata* mostra-se tolerante à inundação, possivelmente por apresentar propriedades anatômicas que facilitem a sua aeração ou por não mostrar aceleração da glicólise e mostrar pequena ou nenhuma indução ou trocas nas propriedades cinéticas do ADH (atividade desidrogenase alcoólica) quando submetida à anoxia. Este raciocínio tem sido aplicado em muitos trabalhos atuais, havendo um relevante estudo eletroforético efetuado por MARSHALL et alii em *Zea mays*.

CRAWFORD³ propõe um diagrama sumarizado para explicar plantas tolerantes e intolerantes, sendo sugerido que a acumulação de malato é feita, possivelmente pela deleção da enzima málica de plantas tolerantes, devendo esta substância ser metabolizada, sem prejuízo para a planta, quando a mesma estiver em solo normalmente arejado.

Plantas tolerantes a deficiência de oxigênio são adaptadas a utilizar a energia da glicólise e ao mesmo tempo,

tornar seus produtos inofensivos. Desintoxicação destas plantas pode ser efetuada, por exemplo, pela exudação destas substâncias tóxicas na solução envolvente das raízes, transportá-las para as partes aéreas, descarregando-as no ar ou aumentando sua habilidade para o metabolismo secundário. Em adição, algumas plantas, possivelmente a *S. campanulata* aqui estudada, possui algum sistema regulador que previne a produção de etanol e lactato por um reverso no final dos passos da cadeia de reações, para produzir alguns produtos intermediários de trocas inofensivas por esta planta. Estes produtos podem ser Malato e Succinato, os quais seriam prontamente metabolizados sob normalização das condições gasosas. A maior concentração relativa de etanol encontrada em *J. principis* pode estar evidenciando um mecanismo diferenciado comparado ao de *S. campanulata*, levando-se a crer que estes teores alcoólicos são suficientes para solubilizar organelas citoplasmáticas, sobre tudo mitocôndrios, ocasionando a morte das células e das plantas.

ABSTRACT

An experiment was conducted involving potted plants of Joanesia principis and Spathodea campanulata in conditions of super saturated soil, and saturated soil of normal wettness. Variations in some histological and biochemical parameters were examined. It was verified that S. campanulata has greater histological plasticity than J. principis and that only S. campanulata can withs tand super saturated conditions. The histological changes of the roots and stems of S. campanulata were notable and probably are associated with the better growth of the species in soils with low concentration of oxygen. The activity of mitogenesis in the cambial cells of the bark was greatest in S. campanulata when planted in super-saturated soils. Also observed were numerosis spongy lenticels related to this increased activity. A comparison of the two species in relation to the different treatments verified in levels of alcohol in the roots. Linear regression analysis revealed significant indices between alcohol concentration and histological alterations, the highest levl of alcohol was enconntered in J. principis.

KEY-WORDS: Anoxia and histological variation; Phynotypic plasticity - aerobiose and anoxia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRYANT, A.E. Comparison of Anatomical and Histological Diference Between Roots and Barley Grow in Aerated and Non-aerated Culture Solutions. *Plant Physiol.*, 9: 389-391, 1934.
2. CHIRKOVA, T.V. & GUTMAN, T.S. Physiological Role of Branch Lenticels in willon and poplar under conditions of Root Anaerobiosis. *Soviet Plant Physiol.*, 1972.
3. CRAWFORD, R.M.M. Metabolic Adaptations to Anoxia. In: Hook, D.D. & CRAWFORD, R.M.M. ed. *Plant life in Anaerobic Environments*. Michigan, Ann Arbor, 1978. p. 119-54.
4. ESAU, K. *Plant Anatomy*. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1965.
5. HABERLANDT, G. *Physiological Plant Anatomy*. New York, S - II Service Agency, 1965. (Reprint Edition as Translated by M. Drummond.)
6. HOOD, D.D. & BROWN, C.L. Pemeability of the Cambium to Air in Trees Adapted to wet Habitata. *Bot. Gaz.*, 133:304-310, 1972.
7. HOOK, D.D.; BROWN, C.L.; WETMORE, R.H. Aeration in Trees. *Bot. Gaz.*, 133(4):443-454, 1972.
8. KEFFORD, N.P. Auxin - Gibberellin Interaction. *Plant Physiol.*, 37:380-386, 1962.
9. KORDAN, H.A. Rice Seedlings Gemanited in water Normal and Impeded Environmental Gas Exchange. *J. Appl. Ecol.*, 9(2):527, 1972.
10. KORDAN, H.A. Pattereses of Schoot and Root Growth in Rice Seedlings Germinating under water. *J. Appl. Ecol.*, 11(2):685, 1974.
11. MARSHALL, D.R.; BROUE, P.; PRYOR, A.J. Adaptative significance of Alcohol Deydrogenase Isozyme in Maize. *Nature*, (New Biol.) 244(131):16, 1973.
12. MCPHERSON, D.C. Cortical Air Spaces in the Roots of *Zea Mays* L. *New Phytol.*, 38:190-202, 1939.
13. OPIK, H. Effect of Anaerobiosis on Respiratory Rate, Cytochrome oxidase Activity and Mitochondrial Structures in Coleoptiles of Rice (*Oriza sativa* L.). *J. Cell. Sci.*, 12 (3): 725, 1973.
14. PITMAN, M.G. Adaptation of Barley Roots to Low Oxygen . Supply and its Relation to Potassium and Sodium Uptaka. *Plant Physiol.*, 44:1233-1240, 1969.

15. SIEGEL, S. *Non parametric statistics for the behavioral Sciences*. New York, McGraw-Hill, 1956, 312p.
16. TSUJI, H.A. Effect of Anaerobic Condition on the Dry Weight Decrease of Germinating Rice Seeds. *Bot. Mag.*, 81(959):233, 1968.
17. UEDA, H. & TSUJI, H. Ultrastructural Changes of Organelles in Coleptile Cells during Anaerobic Germination of Rice Seeds. *Protoplasma*, 73(2):203, 1971.
18. VARTAPETIAN, B.B.; ANDREEVA, I.N.; KURSANOV, A.L. Appearance of Unusual Mitochondria in Rice Coleoptiles at conditions of Secondary Anoxia. *Nature*, 240(5445):258, 1974.
19. WADA, S. Growth Patterns of Rice Coleoptiles Grow on Water and Water. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 27: ser 4, 199, 1961.